

Anni Heikkilä

MUOVI- JA KARTONKIPAKKAUSTEN YMPÄRISTÖVAIKUTUSTEN ELINKAARIVERTAILU SUOMESSA

Kandidaatintyö
Tekniikan ja luonnontieteiden TkK-tutkinto-ohjelma,
ympäristö- ja energiatekniikka
Hannele Auvinen
Toukokuu 2022

TIIVISTELMÄ

Anni Heikkilä: Muovi- ja kartonkipakkausten ympäristövaikutusten elinkaarivertailu Suomessa
Comparing the life cycle impacts of plastic- and carton-based packaging in Finland
Kandidaatintyö
Tampereen yliopisto
Tekniikan ja luonnontieteiden TkK-tutkinto-ohjelma, ympäristö- ja energiatekniikka
Toukokuu 2022

Muovia materiaalina on kritisoitu viime vuosina liittyen sen haitallisuuteen ympäristön kannalta, mikä on johtanut muovipakkausten korvaamiseen kartonkisilla ympäristöön vedoten. Yleinen keskustelu muovin osalta on keskittynyt pitkälti muovijätteen huonoihin puoliin, vaikka materiaalina muovi on kestävä, helposti muovattava, kevyt ja halpa materiaali. Tässä työssä on tarkoitus selvittää, onko muovipakkauksen korvaaminen kartonkipakkauksella ympäristöteko vertailemalla pakkauksien ilmastoa lämmittäviä, ympäristöä happamoittavia sekä luonnonvaroja kuluttavia ympäristövaikutuksia elinkaaren kaikissa vaiheissa.

Muovipakkaukset valmistetaan uusiutumattomista fossiilisista polttoaineista. Kartonkipakkaukset taas valmistetaan uusiutuvasta puukuidusta. Kartonginvalmistusprosessi käyttää selvästi vähemmän energiaa ja aiheuttaa näin pienemmät ilmastoa lämmittävät sekä ympäristöä happamoittavat päästöt: kartongin valmistuksen ilmastonlämmityspotentiaali on 1,1 kg CO₂-ekv ja esimerkiksi suuritiheyksisen polyeteenin 1,8 kg CO₂-ekv. Kartonginvalmistusprosessi vaatii kuitenkin enemmän vettä sekä aiheuttaa enemmän jätettä.

Pakkausten kuljetusten päästöt aiheutuvat raskaan liikenteen päästöistä, joita ovat mm. hiilidioksidi-, hiilimonoksidi-, typpi-, rikki-, hiilivety- ja pienhiukkaspäästöt. Näiden päästöjen laatu on molempien pakkausten kohdalla sama, mutta eroavaisuus tulee siinä, että massaltaan kevyempi pakkaus aiheuttaa vähemmän päästöjä. Muovi on kevyempi materiaali eli se aiheuttaa kuljetusvaiheessa pienemmät ilmastoa lämmittävät sekä ympäristöä happamoittavat päästöt. Esimerkiksi 150 gramman jogurttipurkkeja vertailtaessa täysin muovisen ja täysin kartonkisen pakkauksen 100:n rekkakuljetuksen ero päästöissä on 230 kg CO₂. Täysin muovisen pakkauksen ero muovia ja kartonkia yhdistävään pakkaukseen on 460 kg CO₂.

Pakkausjätettä päätyy Suomessa kierrätykseen sekä energiahyödyntämiseen eli polttoon. Näiden lisäksi jätettä saattaa päätyä myös luontoon ohi jätehuoltojärjestelmän. Muovi on materiaalina kestävämpi, joten se kestää käytössä paremmin eikä päädy välttämättä niin suurella todennäköisyydellä jätteeksi. Suomessa muovipakkausjätteestä poltetaan lähteestä riippuen 40 – 75 %. Kierrätykseen päätyy siis lähteestä riippuen noin 15 – 60 %. Kartongin kierrätysaste taas oli vuonna 2019 116 %. Vaikka kierrätysaste kartongilla oli yli 100 %, päätyy sitä kuitenkin polttoon niin sekajätteen mukana kuin erilliskerättynäkin, mutta huomattavasti vähemmän kuin muovia. Poltettaessa muovin päästökerroin on lähteestä riippumatta selvästi korkeampi kuin kartongin. Näin ollen poltettaessa muovista aiheutuu suuremmat ilmastoa lämmittävät päästöt kuin kartongista, vaikka muovin poltto tuottaakin enemmän energiaa kuin kartongin.

Itse kierrätysprosessi kuluttaa muovin kohdalla enemmän energiaa kuin kartongilla ja aiheuttaa myös suuremmat ilmastoa lämmittävät päästöt. Koska Suomessa ei valmisteta pakkauksia uusiokartongista, vertaillaan vain uusiomuovin, neitseellisen muovin sekä neitseellisen kartongin valmistuksen ilmastonlämmityspotentiaalia. Tässä kierrätetyn muovin ilmastonlämmityspotentiaali on 0,9 kg CO₂-ekv, joka on pienempi kuin aiemmin mainitut muovin sekä kartongin vastaavat arvot. Materiaalina muovi on myös soveltuvampi kierrätykseen, koska sitä voi kierrättää 10 kertaa ja kartonkia 7 kertaa. Luontoon päätyessään muovipakkaus on luonnolle haitallisempi, koska sen hajoamisessa kestää satoja vuosia, kun taas kartongin hajoamisessa vain muutamia kuukausia. Hajotessaan muovista vapautuu haitallisia kemikaaleja sekä meriekosysteemeissä haittaa tekeviä mikromuoveja.

Yksiselitteistä lopputulosta pakkausmateriaalien haitallisuudesta ympäristölle on hankala todeta, mutta selvää on, että muovipakkauksen korvaaminen kartonkipakkauksella ei ole automaattisesti ympäristöteko. Jatkotutkimuksena suositellaan muovi- ja kartonkipakkausten epäsuorien ympäristövaikutusten vertailua.

Avainsanat: muovipakkaus, kartonkipakkaus, elinkaaritarkastelu

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
2. RAAKA-AINEET JA VALMISTUS JA NIIDEN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET	3
2.1 Pakkausten valmistus raaka-aineista pakkauksiksi	3
2.1.1 Muovipakkausten raaka-aineet ja valmistus	3
2.1.2 Kartonkipakkausten raaka-aineet ja valmistus	4
2.2 Pakkausten raaka-aineiden ja valmistuksen ympäristövaikutukset	6
3. KULJETUKSET JA NIIDEN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET	10
4. JÄTTEEN KÄSITTELYN VAIHTOEHDOT JA NIIDEN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET	14
4.1 Jätteen käsittelyprosessit	14
4.1.1 Muovijätteen käsittelyprosessit	14
4.1.2 Kartonkijätteen käsittelyprosessit	16
4.2 Jätteiden ympäristövaikutukset	17
4.2.1 Jätteiden polttamisen ympäristövaikutukset	17
4.2.2 Jätteiden kierrätysprosessien ympäristövaikutukset	18
4.2.3 Jätteiden luontoon päätyminen ympäristövaikutukset	20
5. JOHTOPÄÄTÖKSET	21
LÄHTEET	24

LYHENTEET JA MERKINNÄT

AP	Engl. Acidification potential, happamoittamispotentiaali
GWP	Engl. Global warming potential, ilmastonlämmityspotentiaali
HIPS	Engl. High impact polystyrene, iskunkestävä polystyreeni
HDPE/PE-HD	Engl. High-density polyethylene, suuritiheksinen polyeteeni
PELD/PE-LD	Engl. Low-density polyethylene, pientiheksinen polyeteeni
PE	Polyeteeni
PET	Polyetyleenitereftalaatti
PP	Polypropeeni
PS	Polystyreeni
PVC	Polyvinyylikloridi

1. JOHDANTO

Muovi pakkausmateriaalina on yleistynyt 2000-luvulla varsin nopeasti, ja sen tuotanto on kasvanut kaksikymmenkertaiseksi maailmanlaajuisesti viimeisen noin 50 vuoden aikana (Euroopan komissio, 2018; Geyer, 2017). Kaikesta muovintuotannosta noin puolet käytetään pakkausmateriaaleihin kalvoiksi ja elintarvikepakkauksiksi (Järvinen, 2008, s. 16). Kartonkia on 2010-luvulla käytetty päämateriaalina pakkauksissa, ja myös sen määrä on kasvanut vuosina 2009 – 2019 23,7 %. Muovin kasvu on kuitenkin ollut kiivaampaa tällä aikavälillä prosentuaalisen kasvun ollessa 26,4 %. (Eurostat, 2022)

Selvästi käyttökelpoisena materiaalina pidettyä muovia on kuitenkin viime vuosina alettu kritisoida liittyen sen haitallisuuteen ympäristön kannalta. Tämä on johtanut muovituotteiden ja -pakkausten korvaamiseen usein kartonkisella vaihtoehdolla nimenomaan ilmasto- ja muihin ympäristöseikkoihin vedoten vailla tarkempaa tarkastelua koko elinkaaren aikaisista ympäristövaikutuksista (Lehtinen, 2021). EU on jopa kieltänyt tiettyjen kertakäyttöisten muovituotteiden myymisen (European Commission, 2020).

Yleinen keskustelu muovipakkausten ympärillä on keskittynyt hyvin pitkälti pakkauksen elinkaaren loppupäähän eli jätevaiheeseen ja sitä kautta muovin huonoihin puoliin, kuten muovijätteen sekä mikromuovin määrään merissä. Kartonkia pidetään yleisesti ympäristölle parempana vaihtoehtona, koska se on uusiutuvaa materiaalia sekä biohajoava (Seppälä, 2004). Kuitenkin elinkaaren muissa vaiheissa muovi on hyvin kelpo materiaali: Sitä on helppo muovata, se on kevyt, kestävä, parantaa elintarvikkeiden säilyvyyttä ja on lisäksi halpa (Lehtinen, 2021).

Tämän työn tavoitteena on selvittää pakkausten koko elinkaaren aikaisia ympäristövaikutuksia ja vertaillaan niitä muovi- ja kartonkipakkausten osalta. Lisäksi käsitellään pakkauksia, joissa on käytetty sekä muovia että kartonkia yhdessä. Ympäristövaikutukset, joita työssä vertaillaan liittyvät ilmastoa lämmittäviin ja ympäristöä happamoittaviin päästöihin sekä luonnonvarojen kulutukseen.

Työssä perehdytään sellaisten tuotteiden pakkauksiin, joiden kohdalla on mahdollista valita, käytetäänkö pakkausmateriaalina muovia vai kartonkia, kuten esimerkiksi pienet jogurttipurkit, riisipaketit sekä pesuainepakkaukset. Esimerkiksi näiden pakkausten

kohdalla muovipakkauksia on korvattu kartonkipakkauksilla, usein ympäristövaikutusten pienentämistä perustellen.

Työ rakentuu elinkaaren vaiheisiin niin, että toisessa luvussa käsitellään raaka-aineiden hankintaa ja pakkausten valmistusta, kolmannessa luvussa kuljetuksia ja neljännessä luvussa käsitteylä jätteenä, jonka jälkeen viides luku kertoo johtopäätökset. Elinkaaren vaiheisiin kuuluisi myös pakkausten käyttäminen, mutta koska tämä työ keskittyy vertailemaan pakkausten suorien ympäristövaikutusten eroja eikä niitä käyttövaiheessa juurikaan ole, on käyttö rajattu käsittelystä pois. Työ toteutetaan pääosin kirjallisuuskatsauksena, jonka lisäksi luvussa kolme on hieman omaa laskentaa.

2. RAAKA-AINEET JA VALMISTUS JA NIIDEN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET

2.1 Pakkausten valmistus raaka-aineista pakkauksiksi

Tässä työssä käsiteltävät pakkaukset ovat sellaisia, joiden kohdalla voidaan tehdä valinta, käytetäänkö materiaalina muovia vai kartonkia. Tällaisia pakkauksia ovat esimerkiksi jogurttipakarit, joita valmistetaan Suomessa kokonaan kartongista, kokonaan muovista sekä näiden yhdistelmästä, jolloin purkki on muovinen ja etiketti kartonkinen. Muita pakkauksia, joita valmistetaan sekä muovista että kartongista ovat esimerkiksi riisipaketit, keksipaketit, siivousvälinepakkaukset sekä muun muassa pesuainetablettipakkaukset.

Kun puhutaan valmistuksen ympäristövaikutuksista, esimerkiksi päästöistä, luetaan niihin usein myös raaka-aineiden kuljetusten päästöt. Tässä luvussa ei kuitenkaan perehdytä tarkemmin esimerkiksi öljynporauksen tai metsäteollisuuden ympäristövaikutuksiin, vaan keskitytään enemmän pakkausten valmistukseen sekä itse raaka-aineiden vertailuun.

2.1.1 Muovipakkausten raaka-aineet ja valmistus

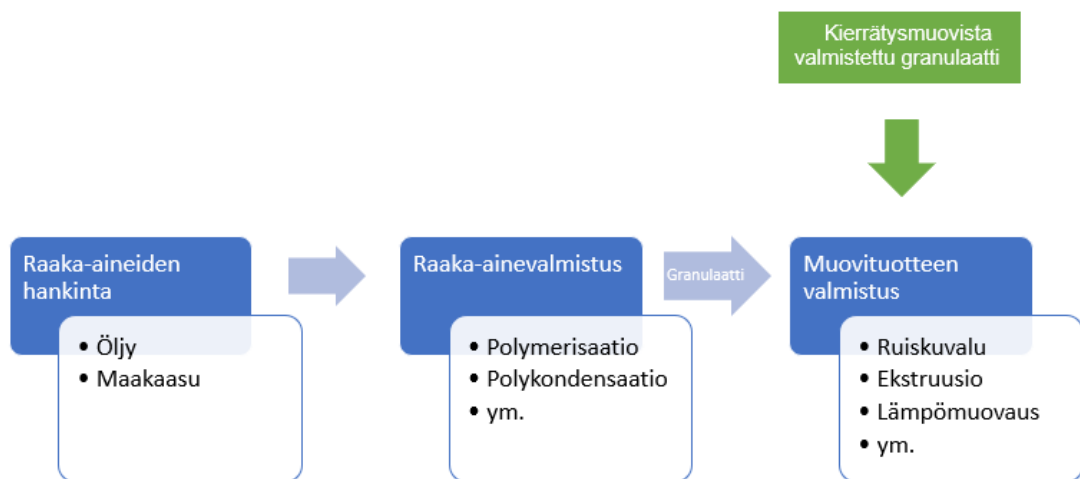
Muovit muodostuvat polymeeriketjuista, joita valmistetaan petrokemian tuotteista. Muovi myydään tuotteiden valmistajille yleensä granulaatteina, pieninä helposti muovailtavina muovirakeina (Järvinen, 2008, s. 15).

Yleisimmät pakkausmuovilaadut ovat polyeteeni (PE), polypropeeni (PP), polyvinyylikloridi (PVC), polyeteenitereftalaatti (PET) sekä polystyreeni (PS), jotka ovat kaikki öljypohjaisia kestumuoveja (Muovifakta, 2008 s. 26 – 27). Lisäksi PVC:n valmistuksessa käytetään ruokasuolaa ja PET:in sekä HIPS:in (engl. high impact polystyrene) valmistuksessa käytetään raakaöljyn ohella maakaasua (Plastics Europe, 2010). Polystyreenistä valmistetaan esimerkiksi pieniä jogurttipurkkeja, riisipaketteja PET- sekä PE-muovista, keksi- ja siivousvälinepakkauksia polypropeenista.

Puolivalmisteen valmistusprosessi pitää yksinkertaistettuna sisällään raakaöljyn hankinnan ja jalostuksen, hiilivetyjen krakkauksen sekä polymerisaation. Krakkauksessa öljyn hiilivetyjä pilkotaan pienimolekyylisiksi yhdisteiksi (Seppälä, 1997, s. 96). Nämä monomeerit polymerisoidaan korkeissa lämpötiloissa, jolloin muodostuu pitkämolekyylisiä yhdisteitä (Seppälä, 1997, s. 99). Granulaattia valmistetaan myös kierrätysmuovista (kuva 1), mutta Suomessa uusiomuovia valmistetaan ainoastaan PE-

LD:stä, PE-HD:stä ja PP:stä, muista laaduista valmistetaan ainoastaan sekalaatuista granulaattia (Järvinen, 2016, s.56 – 59).

Kun granulaatti on valmistettu, voidaan se jalostaa edelleen muovituotteiksi. Muovituotteiden valmistuksessa on seitsemän päämenetelmää, joissa kaikissa puolivalmiste kuumennetaan, jonka jälkeen sitä muovataan erilaisilla menetelmillä (Muoviteollisuus Ry). Lisäksi valmistuksen yhteydessä lisätään täyte- ja lisäaineita toivottujen ominaisuuksien aikaansaamiseksi. Tällaisia aineita voi olla esimerkiksi lasi- ja hiilikuidut, tarttumisenestoaineet sekä esimerkiksi elintarvikepakkauksissa antifogit, joilla estetään vesihöyryn tiivistyminen muovikalvon sisäpintaan. (Järvinen, 2008, s. 206 – 213) Yleisimmät muovintyöstömenetelmät Suomessa ovat ekstruusio eli suulakepuristus ja ruiskuvalu, joissa molemmissa muovisulan lämpötila on valmistettavasta muovilaadusta riippuen lähellä 300 °C (Järvinen, 2008, s. 175 – 176, 180 – 181). Kuvassa 1 on kuvattu yksinkertaistettuna muovipakkauksen valmistusprosessi.



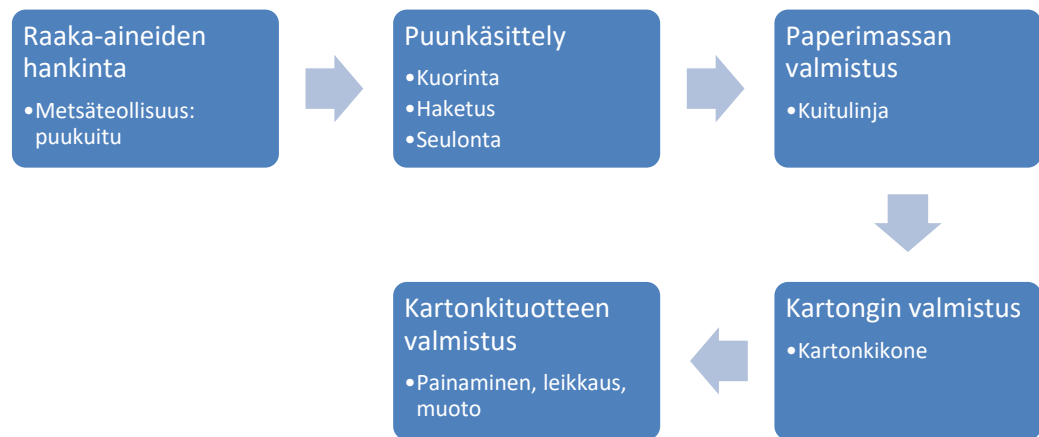
Kuva 1. Muovipakkauksen valmistusprosessi. Perustuu lähteisiin (Seppälä, 2004; Järvinen, 2008)

2.1.2 Kartonkipakkausten raaka-aineet ja valmistus

Kartongin pääraaka-aineena käytetään selluloosakuitua, jota saadaan yleisimmin puusta (Seppälä, 2004). Prosessiin, jossa metsässä kasvavasta puusta valmistetaan kartonkipakkaus, kuuluu paperimassan valmistus, kartongin valmistus ja jalostus pakkausmateriaaliksi (Lehtinen, 2021).

Kartongin valmistus tapahtuu pääosin samaan tapaan kuin paperin valmistus. Paperin ja kartongin ero on lähinnä neliömassassa eli tiheydessä: kartonki on monikerroksista ja tiheämpää. (Hägglom-Ahnger, 2003, s. 8 – 9) Ennen paperimassan valmistusta puu

kuoritaan ja käsitellään sopivaksi hakkeeksi. Tämän jälkeen sellutehtaalla kuitulinjalla hake keitetetään, valkaistaan sekä lopulta jälkilajittelun jälkeen kuivataan. Sellutehtaalla on myös muita osaprosesseja, kuten lipeälinja ja jätevesilaitos, joissa käsitellään prosessin sivuvirtoja. (Pöyry Finland Oy, 2018) Tämän jälkeen kartonkia valmistetaan kartonkikoneilla, joihin syötetään pakkauksissa käytettävän kartongin kohdalla lehtipuusulfaattisellua sekä täyte- ja lisäaineita (Hägglom-Ahnger, 2003, s. 14 – 15). Kuva 2 esittelee yksinkertaistettuna kartonginvalmistusprosessin. Kierrätyskartongista ei valmisteta kartonkipakkauksia Suomessa (Moliis, 2012).



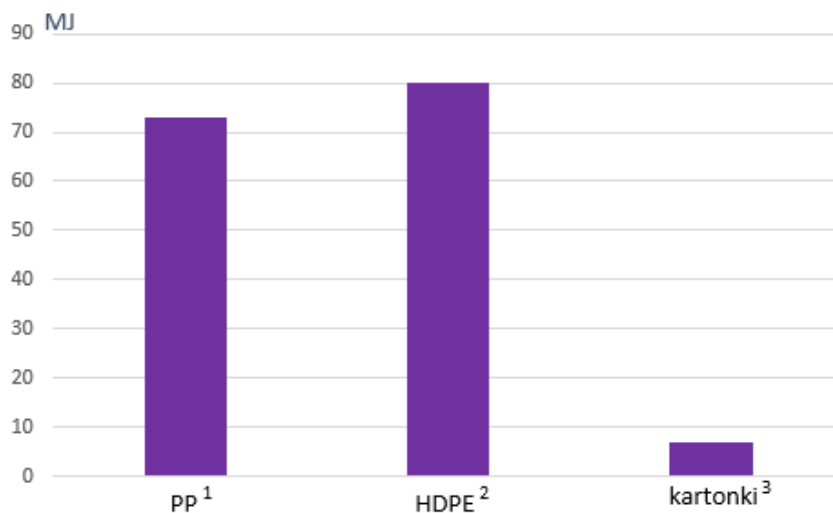
Kuva 2. Kartonkipakkauksen valmistusprosessi. Perustuu lähteisiin (Pöyry Finland Oy, 2018; Hägglom-Ahnger, 2001)

Pakkauksissa käytettävä jaloste on useimmiten nestepakkaukartonkia tai kartonkikoteloita. Kartonkikoteloita käytetään tyypillisesti eri elintarvikkeiden pakkauksissa, kuten hiutale-, keksi- ja makeispakkauksissa sekä muissa pakkauksissa, kuten pesuaine-, kosmetiikka- ja hammastahnappakkauksissa. Tällaisissa pakkauksissa on usein täysmineraalipäälyste sekä mahdollisesti muovi- tai alumiinifoliosuojakerros. (Seppälä, 2004) Näiden lisäksi pakkauksiin voidaan lisätä erillinen muovipussi tai -kotelo. Nestepakkaukartonkia käytetään nestepakkauksissa, kuten jogurttipurkkien ja muiden maitotuotteiden sekä hedelmämehujen pakkauksissa. Tällaiset pakkaukset ovat tyypillisesti kolmikerroksista kartonkia, jonka lisäksi pakkauksissa on usein molemminpuoleinen päälyste. Yleisin pinnoite nestepakkaukartongissa on PE-muovipäälystys. (Seppälä, 2004; Tetra- Pak, 2019)

2.2 Pakkausten raaka-aineiden ja valmistuksen ympäristövaikutukset

Muovipakkausten valmistuksessa granulaatin muovaus käyttää paljon energiaa, sillä granulaatin sulattaminen tapahtuu korkeissa lämpötiloissa. Kartonginvalmistusprosessi taas voi olla jopa lähes omavarainen energian suhteen, sillä sellutehtaat, jotka usein ovat paperitehtaiden yhteydessä, toimittavat sähköä omien prosessien lisäksi myös paperitehtaalle. Sellunvalmistusprosessi tuottaa energiaa jäteliemen ja puun kuoren polton avulla. Tämän vuoksi kuvassa 3 kartongin valmistuksen energiankulutuksessa ei ole huomioitu massan valmistusta, sillä sen vaikutus on käytännössä hyvin pieni tai olematon. Kuitenkin valmistusprosessiin kuuluu mm. raaka-aineiden hankinta eli metsätyöt sekä kuljetuspolttoaineet. (Hägglom-Ahnet, 2003, s.255)

Kuvasta 3 nähdään, että kartongin ja muovin valmistuksen energiankulutus eroaa suuresti, ja riippumatta muovilaadusta kartongin valmistukseen kuluu vähemmän energiaa. Energiantuotanto kuormittaa aina sekä ilmastoa että muuta ympäristöä ja tästä johtuen GWP:n (engl. Global warming potential) eli ilmastonlämmityspotentiaalini lisäksi (kuva 4) myös happamoittavat päästöt (kuva 5) ovat muovin osalta suuremmat. Kuormituksen määrä ja laatu riippuvat kuitenkin myös siitä, mitä kyseisessä paikassa käytetään energianlähteenä.

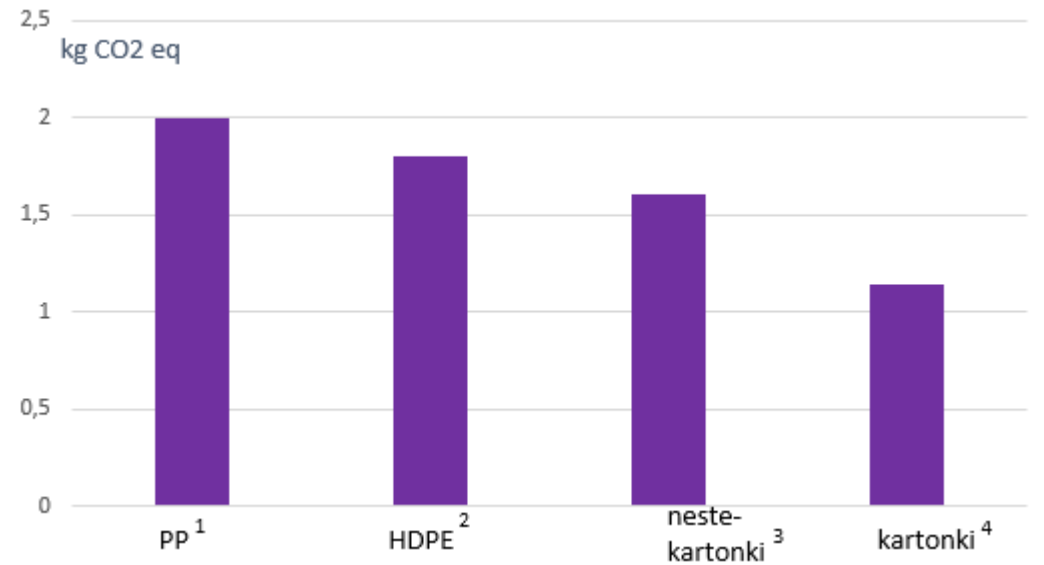


Kuva 3. Polypropeenin (PP), suuritiheyksisen polyeteenin (HDPE) ja kartongin valmistuksen energian kulutuksen vertailu kilogrammalle kutakin materiaalia.

¹ (Plastics Europe, 2008), ² (Plastics Europe, 2014), ³ (Hägglom-Ahnger U., 2001)

Kuvassa 4 on vertailtu polypropeenin, suuritiheyksisen polyeteenin, Tetra Pakin nestekartonkipakkauksen sekä muun kartonkipakkauksen GWP-arvoja. Selvästi pienin

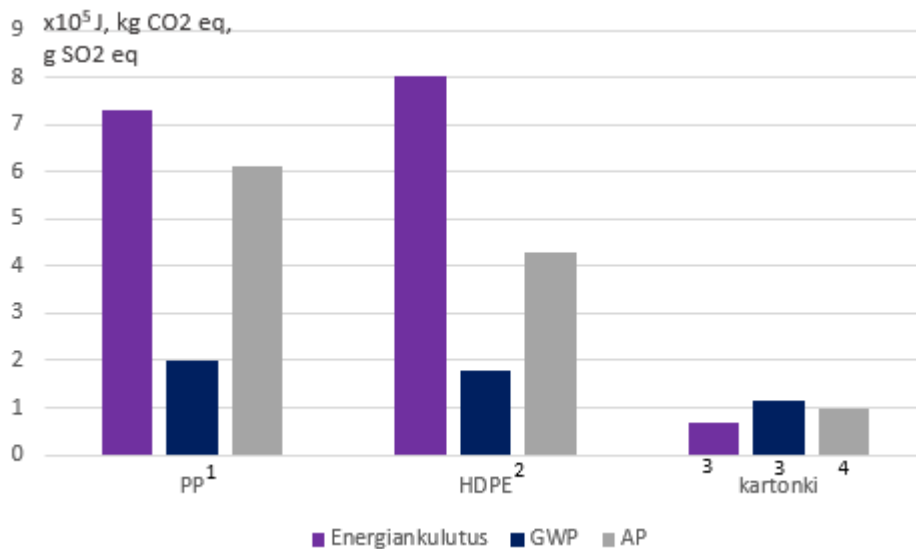
GWP on kartongilla. Nestekartongin ja muun kartongin ero selittyy nestekartongin monimutkaisemmalla rakenteella, johon tarvitsee enemmän materiaalia verrattuna tavalliseen kartonkipakkaukseen (Seppälä, 2004). Ilmatonlämmityspotentiaalın suhteen erot ovat pienemmät kuin kuvan 3 energiankulutuksessa. PP, HDPE sekä nestekartonki ovat GWP-arvoiltaan kaikki suunnilleen samaa suuruusluokkaa keskenään, mutta muovien valmistuksen GWP on suurempi kuin kartonkien.



Kuva 4. Kahden muovi- ja kartonkilaadun GWP-arvojen vertailu

¹ (Plastics Europe, 2008), ² (Plastics Europe, 2014), ³ (Tetra Pak, 2019), ⁴ (Hägglom-Ahnger U., 2001)

Kuvassa 5 on koottu jo aiemmin esitetyt energiankulutus ja ilmastonlämmityspotentiaali sekä lisäksi AP (engl. acidification potential) eli happamoittamispotentiaali, joka liittyy valmistuksen rikkidioksidipäästöihin.



Kuva 5. Ilmastonlämmityspotentiaalin (GWP), energiankulutuksen ja happamoitumispotentiaalin (AP) vertailu kilogrammalle muovia ja kartonkia.

¹ (Plastics Europe, 2008), ² (Plastics Europe, 2014), ³ (Tetra Pak, 2019), ⁴ (Wang, 2012)

GWP:n, energiankulutuksen sekä happamoitumispotentiaalin osalta kartongin valmistus on ympäristölle vähemmän haitallista. GWP:n, energian ja AP:n lisäksi fossiilisten polttoaineiden kulutus on kartongin valmistuksessa vähäisempää (Plastics Europe, 2014; Wang, 2012).

Kun vertaillaan vaikutuksia kilogrammalle materiaalia, on hyvä ottaa huomioon myös pakkausten eroavat massat. Koska muovi on materiaalina kevyempää, painaa muovipakkaus vähemmän, jolloin kilogrammasta muovia saadaan enemmän pakkausmateriaalia kuin kilogrammasta kartonkia. Erot ympäristövaikutuksissa kuvassa 5 ovat kuitenkin niin suuret, että vaikka kartonki on painavampaa, ovat sen GWP, energiankulutus sekä AP valmistuksessa silti pienemmät.

Esimerkiksi jogurttipurkkeja valmistetaan myös muovin ja kartongin yhdistelmästä. Tällaisissa pakkauksissa on usein esimerkiksi muovinen pohja, jonka päälle on laitettu irroitettava kartonkinen etiketti. Tällaisen pakkauksen ympäristövaikutukset ovat luonnollisesti suuremmat kuin pelkästään muovisen, sillä siinä on käytetty huomattavasti enemmän materiaalia. Esimerkiksi jogurttipurkkien kohdalla muovinen pikari on hieman ohuempi kuin kokonaan muovisissa jogurttipurkeissa, mutta sen päälle on vielä lisätty kartonkia. Tämä kuitenkin yhteensä lisää materiaalinkulutusta ja näin ollen myös muita ympäristövaikutuksia.

Muovin valmistus aiheuttaa siis selvästi enemmän ilmastoa lämmittäviä sekä happamoittavia päästöjä. Lisäksi muovin valmistuksessa käytetään enemmän uusiutumattomia luonnonvaroja. Kartongin valmistuksessa joudutaan kuitenkin myös kaatamaan metsää, joka aiheuttaa muutoksia ekosysteemiin sekä vähentää hiilinielujen määrää. Kartongin valmistus aiheuttaa lisäksi enemmän jätettä sekä käyttää enemmän vettä kuin muovin valmistus (Plastics Europe, 2008; Wang, 2012).

Eniten hiilidioksidipäästöjä elintarvikepakkauksen elinkaaren vaiheista aiheutuu pakkauksen tuotannon aikana riippumatta materiaalista pakkauksen valmistuksen ollessa tuoteesta riippuen muutaman prosentin luokkaa koko tuotteen ympäristövaikutuksista (Silvenius, 2014). Samaa suuruusluokkaa on Silveniuksen et al. (2014) mukaan myös jätehuollon osuus pakkauksen päästöistä, joskin hieman pienempi kuin valmistuksen. Suuri tekijä valmistuksen ympäristövaikutuksissa on energiantarve, joka on muovipakkauksilla huomattavasti suurempi kuin kartongilla.

3. KULJETUKSET JA NIIDEN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET

Tässä luvussa kuljetuksella tarkoitetaan pakkausaihioiden kuljetusta täytettäväksi tuotteenvalmistajalle sekä kuljetusta valmiina tuotteena kauppoihin. Jätehuollon kuljetukset kuuluvat jätteiden käsittelyn ympäristövaikutuksiin.

Suomessa kuljetukset tehtailta päivittäistavara-kauppoihin tapahtuvat lähinnä raskaan liikenteen ajoneuvoilla. Pakkausten ympäristövaikutuksiin luetaan tällöin mukaan kuljetusajoneuvon päästöt, jotka kasvavat kuorman massan kasvaessa. Raskaan liikenteen kulkuvälineet aiheuttavat hiilidioksidi-, hiilimonoksidi-, typpi-, rikki-, hiilivety- ja pienhiukkaspäästöjä. (Motiva, 2019) Näistä tärkein ilmastoa lämmittävä päästö on hiilidioksidi. Rikkipäästöt ovat happamoittavia päästöjä. Päästöjen laatu siis molemmilla pakkausmateriaaleilla on sama, mutta eroavaisuudet syntyvät määrässä, kun pakkausten massat eroavat toisistaan.

Materiaalina kartonki on painavampaa kuin muovi, mikä lisää kaikkien kuljetusten päästöjä kartonkipakkauksilla. Pakkausten massoihin kuljetuksessa vaikuttaa myös sekundääri- ja tertiäripakkaukset, jotka tarkoittavat kuljetuksessa käytettäviä pienempien pakkausyksiköiden pakkauksia. Yleisin sekundääripakkaustyyppi ruokapakkauksille on pahvilaatikot ja niitä ympäröivä muovikelmu yleisin tertiäripakkaus (Robertson, 2009). Niiden vaikutusta ei kuitenkaan tässä työssä vertailla, koska tarkoitus on vertailla primääripakkausten suoria ympäristövaikutuksia.

Kuljetusten päästöihin vaikuttaa massojen lisäksi sijainnit sekä pakkausten koko ja muoto. Sijainnit vaikuttavat kuljetusmatkojen pituuksiin. Kuljetuksia tapahtuu pakkausten ollessa tyhjiä sekä kun pakkaukset on täytetty. Näihin on Suomessa hankala tehdä eroa kartoni- ja muovipakkausten välille.

Muoto ja koko vaikuttavat pakkausten pakkaamiseen kuljetuksessa. Kun pakkaukset ovat logistisesti järkevän muotoisia, on ne mahdollista pakata tiiviisti, jolloin kuljetuksen päästöt pakkausta kohden ovat pienemmät. Kun pakkaus on kuvan 6 oikeanpuolimmaisena pakkauksen kaltainen, tarvitsee tehtaalle tuoda eri paikoista muovinen pikari ja kartonkinen etiketti. Tämä lisää huomattavasti päästöjä tässä elinkaaren vaiheessa senkin lisäksi, että kyseisen kaltainen pakkaus painaa myös enemmän.



Kuva 6. Eri materiaaleista valmistetut 150 g jogurtia sisältäneet jogurttipikarit. Materiaali vasemmalta lähtien: kartonki, muovi, muovipikari ja kartonkinen etiketti. (Oma kuva)

Taulukossa 1 on esitetty esimerkkitalanteen laskennan alkuarvoja ja taulukossa 2 tuloksia. Esimerkkitalanteessa kuvan 6 mukaiset jogurttipikarit täytetään tehtaalla, jonka etäisyys kauppaan on 360 kilometriä. (Tämä etäisyys on esimerkiksi Helsingistä Seinäjoelle.) Kutakin tuotetta kuljetetaan samanlaisella puoliperävaunurekalla, joka on täynnä ainoastaan yhdenlaista tuotetta. Täyteen rekkaan tässä esimerkissä mahtuu arvion mukaan 111 375 kappaletta kuvan 6 mukaista 150 gramman jogurttipikaria (Mos-Kiito Oy, 2022). Kulutukseksi tähän esimerkkiin on valittu 37 l/100 km VTT:n tutkimuslaskennan (Nylund, 2005) mukaisten puoliperävaunuaajoneuvon tietojen perusteella.

Tässä esimerkissä sekundääri- ja tertiääripakkaukset sekä pikarien kannet ovat saman painoisia eivätkä näin ollen tee eroa kuljetuksen massaun ja jätetään siis huomioimatta laskennassa. Usein jogurttipikarin kansi on alumiininen, mutta se voi toisinaan olla myös muovinen tai kartonkinen. Tässä esimerkissä tarkoitus on vertailla muovi- ja kartonkipakkausten massojen tuomaa eroa kulutukseen, joten ainoastaan niiden väliset erot otetaan huomioon.

Taulukko 1. Kuljetuksen päästöjen laskennan lähtöarvot.

Kuljetuksen etäisyys (km)	360
Kuljetusten lukumäärä (kpl)	100
Kuljetuksen kapasiteetti (kpl) ¹	111 375
Kevyimmän ajoneuvon kulutus (l/100 km) ²	37
Kulutuksen kasvu kuormatonna kohden (l/100 km) ³	0,6
Päästökerroin (kg CO ₂ /l polttoainetta) ⁴	2,66

¹(Mos-Kiito Oy, 2022) ² (Ikonen, 2007) ³ (Nylund, 2005) ⁴ (Liimatainen, 2020)

Kun kuorma kasvaa tonnilla, kasvaa myös polttoaineen kulutus 0,6 l 100 kilometrillä (Taulukko 1). Tämä huomioon ottaen on laskettu, kuinka paljon polttoaineen kulutus nousee, kun kuormaa lisätään taulukon 2 laskelmien mukaisesti. Laskelmissa on oletettu, että muovipakkauksia kuljettavan ajoneuvon kulutus on taulukossa 1 oleva 37 l/100 km, joka lisääntyy 0,6 l/100 km/tonnin lisäys kuormassa (Ikonen, 2007). Polttoaineen kulutuksen ero muovi- ja kartonkikuormalla on 0,65 % ja muovi- sekä muovia ja kartonkia yhdistävällä kuormalla 1,3 % (Taulukko 2). Näillä tiedoilla on laskettu vielä hiilidioksidipäästöjen erot kevyimpään kuormaan eli muovipakkauksia sisältävään kuormaan.

Yksittäisen kuljetuksen päästöt eivät eroa suuresti, sillä vaikka pakkauksia mahtuu yhteen puoliperävaunuun yli 100 000, on erot pakkauksien massoissa vain satojen kilogrammojen luokkaa. Kun puoliperävaunun maksimikuorma on 24 000 kg, on sadan tai kahden sadan kilogramman erot suhteessa hyvin pieniä. Havainnollistamisen helpottamiseksi laskennassa on käytetty 100 kuljetuksen erää, jotta erot tulisivat selvemmin esiin.

Taulukko 2. Laskelma pakkausmateriaalin vaikutuksesta polttoaineen kulutukseen 100 täyden rekan kuljetuksessa.

Pikarin materiaali	Muovi	Kartonki	Muovi + kartonki
Yksittäisen pikarin massa (g)	5	6	7
Kaikkien kuorman purkkien massat (kg)	557	668	780
Polttoaineen kulutuksen kasvu (%)	0	0,65	1,3
Päästöjen ero kevyimpään kuormaan verrattuna (kg CO ₂)	0	230	460

Vaikka muovi on materiaalina kevyempää, ja kuljetukseen mahtuu yli 100 000 purkkia, on erot kulutuksen lisääntymisessä pienet. Kun tarkastellaan sadan kuljetuksen hiilidioksidipäästöjä, syntyy päästöissä jo eroja. Suhteessa siihen, kuinka paljon päästöjä kokonaisuudessaan syntyy kuljetuksesta tällaisella matkalla, on 230 tai 460 kg CO₂ kuitenkin hyvin pieni osuus siitä. Suurissa mittakaavoissa massan lisääminen kuitenkin

lisää päästöjä, ja tässä elinkaaren vaiheessa kevyempi pakkaus, eli muovi, on ympäristön kannalta parempi. Yllä esimerkissä laskettiin nimenomaan hiilidioksidipäästöjä, mutta polttoaineen kulutuksen lisääntyessä myös mm. typpi-, rikki- ja pienhiukkaspäästöt lisääntyvät.

4. JÄTTEEN KÄSITTELYN VAIHTOEHDOT JA NIIDEN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET

4.1 Jätteen käsittelyprosessit

Suomen jätelaki pohjautuu EU:n jätepuitedirektiiviin, jossa jäte tulee käsitellä etusijajärjestyksen mukaisesti (EUR-Lex, 2020). Ensisijaisesti on ehkäistävä jätteen synty, jonka jälkeen tuote pyritään käyttämään uudelleen. Ne, mitä ei voida käyttää uudelleen, on kierrätettävä materiaalina. Viimeisinä vaihtoehtoina ovat energiahyötykäyttö eli polttaminen sekä loppusijoitus kaatopaikalle, jota Suomessa ei enää yhdyskuntajätteen osalta harjoiteta. (Järvinen, 2016, s.16 – 17) Lisäksi Suomessa on voimassa pakkausten tuottajavastuulaki, joka tarkoittaa, että tuotteiden valmistajat vastaavat tuotteidensa jätehuollosta. Tässä alaluvussa käsitellään muovi- ja kartonkipakkausjätteiden käsittelyprosesseja.

4.1.1 Muovijätteen käsittelyprosessit

Euroopan unioni säätelee muovijätteiden keräämistä, kierrättämistä ja kierrätysmuovin käyttämistä muovituotteiden valmistamisessa. EU:n visioon muovien kierrätettävyydestä kuuluu muovipakkausten suunnittelu niin, että EU:ssa markkinoille tulleet muovipakkaukset olisi vuoteen 2030 mennessä oltava joko uudelleenkäytettäviä tai kierrätettävissä kustannustehokkaasti. (Euroopan komissio, 2018) Lisäksi Euroopan komission tiedoksiannossa (2018) todetaan, että Euroopassa tulee kierrättää 2030 mennessä yli puolet syntyvästä muovijätteestä ja kierrätyskapasiteetti on nelinkertaistettava. Myös kierrätysmuovin kysyntää tullaan kasvattamaan.

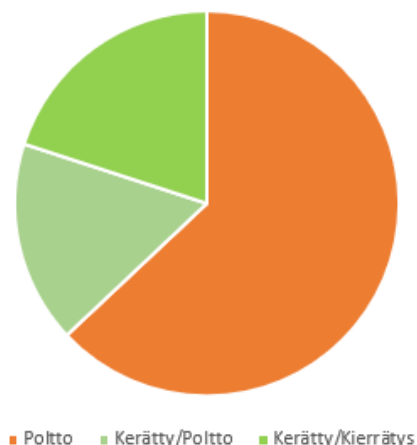
Suomessa toimii toistaiseksi yksi pakkausmuovien kierrätyslaitos Riihimäellä. Fortumin omistama laitos valmistaa granulaattia PELD-, PEHD- ja PP-muovilaaduista. Lisäksi se jalostaa PET- ja sekamuoveja, jotka kaikki päätyvät muoviteollisuuden raaka-aineiksi. (Järvinen, 2016, s.56 – 59; Fortum 2019) Mekaaninen jalostusprosessi pitää sisällään optisen lajittelun infrapunalajittelijalla, pesun, silppuamisen ja granuloinnin (Fortum, 2019). Mekaanisen kierrätyksen lisäksi likaista muovia on mahdollista kierrättää myös kemiallisesti, mutta toistaiseksi mekaaninen kierrätys on päämenetelmä teollisesti.

Suomessa muovipakkausten jätehuoltoa hoitaa Suomen Uusiomuovi Oy. Heidän mukaansa vuonna 2020 pantittomia muovipakkauksia kerättiin markkinoille saatetusta kokonaismäärästä 36,8 % (Suomen Uusiomuovi Oy, 2022). Määrä on yli

kaksinkertaistunut vuodesta 2017 (Suomen Uusiomuovi Oy, 2021). Kerätyn muovijätteen määrä tulee kasvamaan entisestään jätelakiuudistusten myötä.

MOT:in tekemän selvityksen mukaan (Miettinen, 2021a) kerätystä muovijätteestä 37 % saatiin uusiokäyttöön vuonna 2019. Tämä siis tarkoittaisi noin 14 %:n uusiokäyttöasteetta, jos markkinoille saatetuista pantittomista muovipakkauksista kerätään 37 % ja kerätystä muovijätteestä kiertoon päätyisi 37 % (kuva 7). Fortumilla on vielä suunnitteluvaiheessa uusi muovijalostamo, jonka tavoite on kaksinkertaistaa kapasiteetti sekä mahdollistaa mm. polystyreenin erottelu (Uusiouutiset, 2021). Lisäksi, kun jätelain uudistuksen mukaan muovijätteen keräämistä tullaan Suomessa lisäämään, on oletettavaa, että markkinoille päätyvästä muovista yhä suurempi osa tullaan uusiokäyttämään.

Erilliskerätystä muovista se osuus, joka ei päädy Riihimäen laitoksella uusiomuoviksi, päätyy polttoon tai ulkomaille kierrätettäväksi. Tarkkoja tietoja asianomaisten sivustoilta ei ole löydettävissä, mutta MOT:in tekemän selvityksen mukaan vuonna 2020 kerättyä pantitonta pakkausmuovijätettä vietiin ulkomaille noin 10 000 tonnia (Miettinen, 2021b), joka on noin neljännes Suomen Uusiomuovi Oy:n (2021) ilmoittamasta kerätystä muovipakkauksista. Ympäristö.fi -sivuston (2022) tilastojen mukaan ulkomaille viedystä muovipakkausjätteestä noin 4500 tonnia päätyi uusiokäyttöön. Näin voidaan laskea, että jos vuonna 2020 Suomessa kerätyn ja kierrätetyn muovin uusiokäyttöaste olisi aiemmin mainittu 14 %, jonka lisäksi otetaan huomioon ulkomailta uusiokäyttöön päätyneet muovijäte, on vuonna 2020 kerätystä muovista kierrätetty noin neljännes. VTT:n tilastojen mukaan kierrätetyn pakkausmuovin osuus on 20 % (Salo, 2021) . Loput kerätystä muovijätteestä poltetaan.



Kuva 7. Muovijätteen käsittelyn osuudet Suomessa vuonna 2019. Vihreällä pohjalla olevat kuvaavat erilliskerätyn muovin osuutta. Perustuu lähteisiin (Suomen Uusiomuovi Oy, 2021; Salo, 2021; Miettinen, 2021b)

Riippuen lähteestä poltettavaksi päätyvän erilliskerätyn jätemuovin osuus vaihtelee. Edellä tehtyjen laskelmien mukaan poltettavaksi päätyy noin 75 %, mutta esimerkiksi Tuija Käyhkön tekstissä (2019) Kemia-lehdessä vastaava luku on 40 – 60 %. Muovipakkausten osuus sekajätteestä on noin 13 % (KIVO, 2019). Myös tämä osuus päätyy polttoon.

Koska muovi materiaalina on helppo muokata, on jätemuovi laadultaan epätasaista, mikä hankaloittaa muovin kierrätystä ja tekee siitä kalliimpaa. Lisäksi kierrätetyn muovin laatu ja hinta ovat toistaiseksi huonommat neitseelliseen muoviin verrattuna, mikä hidastaa uusiomuovin käyttöä muovipakkausten valmistajien keskuudessa. Vaikka uusiomuovi käyttäytyy valmistuksessa hyvin samalla tavalla kuin neitseellinen, muovipakkauksille, etenkin elintarvikkeiden osalta, on tiukat laatuvaatimukset, jotka toistaiseksi on helpompi toteuttaa neitseellistä muovia käyttämällä. EU on kuitenkin ehdottanut toimia, joilla jatkossa voidaan luoda markkinoita myös kierrätysmuoville. (Euroopan parlamentti, 2021)

Kierrätysmuovista valmistetusta granulaatista tehdään Suomessa esimerkiksi muovitarvikkeita, kuten siivousvälineitä, muovipusseja sekä uusia muovipakkauksia. Muun muassa Valio valmistaa juustoviipalepakkaukset 55 % kierrätysmuovista (Valio). Kuitenkaan kokonaan kierrätysmuovista valmistettuja elintarvikkeipakkauksia ei lainsäädännöllisistä syistä ole (Fortum).

4.1.2 Kartonkijätteen käsittelyprosessit

Myös kartongin kierrätystä säädellään EU:n direktiivissä. Siinä kuitujen, eli kartongin ja paperin, kierrätystavoite vuoteen 2025 mennessä on 75 % ja vuoteen 2030 mennessä 85 %. (EUR-Lex, 2020) Kartonkin kierrätyksestä vastaa Suomessa Suomen Kuitukierrätys Oy. Kartonkin kierrätystilastot on yhdistetty paperin tilastojen yhteyteen. Kartonki- ja paperipakkausten kierrätysaste vuonna 2019 on ollut 116 % (Blauberg, 2021). Kierrätysaste on yli 100 %, koska Suomessa kierrätetään enemmän jätettä kuin markkinoille tuotetaan.

Kartonkipakkausten osuus sekajätteestä on noin 5,4 % (KIVO, 2019). Eli vaikka kartonkipakkausten laskennallinen kierrätysaste on yli 100 %, myös kartonkijätettä päätyy polttoon sekajätteen mukana, vaikkakin selvästi vähemmän kuin muovia. Tämän lisäksi SVT:n (2020) tilastojen mukaan erilliskerättyä paperi- ja kartonkijätettä on 2019 hyödynnetty energiana hieman yli 8 000 tonnia, eli erilliskerättyä kartonkiakin poltetaan, kuitenkin huomattavasti vähemmän kuin muovia.

Kierrätykseen kerätty kartonkijäte viedään ensin paalattavaksi, jonka jälkeen se viedään kartonkitehtaille Suomessa Poriin tai Varkauteen (Ympäristö.fi, 2022). Kartonkitehtailla pulpperissa poistetaan mahdolliset pinnoitteet, joita esimerkiksi nestekartonkipakkauksessa on muovi tai alumiini. Pulpperissa massa vettyy niin, että kuidut saadaan eroteltua toisistaan, jonka jälkeen kuidut päätyvät jauhatukseen. (KnowPap, 2020) Kierrätetystä pakkaukartongista ei valmisteta Suomessa uusia pakkauksia, vaan lähinnä hylsyjä, mutta kerättyä kuitupakkauusjätettä kuljetetaan Ruotsiin Fiskebyn tehtaalle, jossa pakkauksia valmistetaan uusiokartongista (Moliis, 2012).

Kierrätyskuidun laatu uusien pakkausten luomiseen on huomattavasti heikompi kuin neitseellisen kuidun. Toisin kuin muovin kohdalla, kierrätyskuitu käyttäytyy valmistuksessa eri tavalla kuin neitseellinen kuitu. Se esimerkiksi katkeilee eikä pysy yhtä vahvana. (Seppälä, 2001, s. 71) Pakkauksia, joissa hyödynnetään kierrätyskartonkia, valmistetaan lähinnä niin, että neitseellisen massan lisäksi käytetään uusiomassaa (KnowPap, 2020). Elintarvikepakkauksia ei kuitenkaan uusiokartongista valmisteta.

4.2 Jätteiden ympäristövaikutukset

Materiaalina muovi on kestävämpää kuin kartonki (Lehtinen, 2021), joten sitä pystytään todennäköisemmin käyttämään kauemmin ennen kuin sen elinkaari tulee päätökseensä. Kun näin kuitenkin tapahtuu, tällä hetkellä Suomessa pakkausmuovia ja -kartonkia siis sekä poltetaan että kierrätetään. Lisäksi pakkauusjätettä päätyy jossakin määrin myös luontoon. Tässä alaluvussa vertaillaan polton, kierrätysprosessin sekä niiden pakkausten, jotka vuotavat jätteenkäsittelyprosessista luontoon, ympäristövaikutuksia näiden materiaalien välillä.

4.2.1 Jätteiden polttamisen ympäristövaikutukset

Muovi on valmistettu fossiilisista polttoaineista, öljystä ja maakaasusta, jolloin muovin polttaminen taas lisää nopeassa kierrossa olevan hiilidioksidin määrää ilmakehässä. Kun taas poltetaan bioperäistä materiaalia, kuten puusta tehtyä kartonkijätettä, pidetään laskennallisesti päästökerrointa nollassa (Moliis, 2012). Todellisuudessa kartongin poltosta vapautuu hiilidioksidia, mutta koska se on peräisin puusta, se ei lisää nopeassa kierrossa olevan hiilidioksidin määrää.

WWF:n (2018) ilmastolaskurin mukaan päästökerroin kartongille ja pahville on 60 g CO₂-ekv/kg poltettua kartonkia ja muoville 70 g CO₂-ekv/kg poltettua muovia. Näiden päästökertoimien mukaan puhtaassa hävityspoltossa muovin polton ilmastovaikutus on

siis noin 17 % suurempi. On kuitenkin otettava huomioon, että Suomessa jätteiden poltolla tuotetaan energiaa. Muovin energiasisältö on hieman yli kaksi kertaa suurempi kuin kartongin, eli kun poltetaan sama massa muovia ja kartonkia, saadaan muovista enemmän energiaa. (Moliis, 2012) Tämä on hyödyllistä muovin kannalta, koska Suomessa jätteenpoltolla tuotetaan energiaa.

Muovipakkausjätteestä poltetaan suurempi osa kuin kartonkipakkauksista. Aiheutuvien päästöjen lisäksi polttaminen kadottaa materiaaleja kierrosta, jolloin poltettujen tilalle on valmistettava lisää pakkauksia neitseellisistä raaka-aineista. Luonnonvaroja siis kuluu sitä enemmän mitä enemmän jätettä poltetaan, ja muovin raaka-aineena käytetty öljy on uusiutumaton luonnonvara, kun taas kartongin raaka-aine puukuitu uusiutuva.

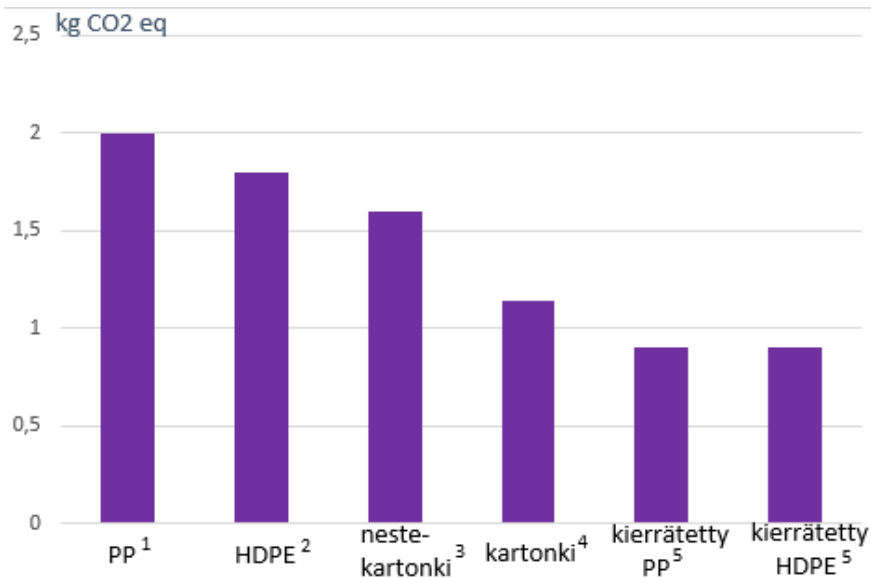
4.2.2 Jätteiden kierrätysprosessien ympäristövaikutukset

Muovin kierrätysprosessissa eniten energiaa kuluttavat vaiheet liittyvät mekaaniseen käsittelyyn. Murskaus ja granulointi kuluttavat energiaa noin 1690 MJ/tonni muovia (Myllymaa, 2008). Tämä on kuitenkin vain reilu viidesosa siitä energiamäärästä, mitä kuluu saman määrän neitseellistä muovia tuottamiseen (Plastics Europe, 2014; Plastics Europe, 2008). Koska muovin kierrätyksen merkittävimmät ympäristövaikutukset liittyvät ilmastomuutokseen, on energiankulutus tässä suuri tekijä. Energiankulutuksen päästöihin vaikuttaa energian tuotantomuoto. Seuraavaksi merkittävimmät ympäristövaikutukset muovinkierrätysprosessista liittyvät hiukkaspäästöihin, happamoitumiseen sekä kasvillisuuden otsonivaurioihin, jotka liittyvät myös prosessin käyttämään energiaan. (Myllymaa, 2008)

Kartongin kierrätysprosessissa eniten energiaa vaatii kuivaus. Kartongin kierrätysprosessi kuluttaa noin 40 % vähemmän energiaa kuin neitseellisen kartongin valmistus (Fiskeby). Tämä on suhteessa pienempi säästö muoviin verrattuna, mutta kartongin kierrätysprosessi kuluttaa kuitenkin vähemmän energiaa muovin kierrätykseen verrattuna. Myös ilmastoa lämmittävät päästöt ovat näin ollen muovin kierrätysprosessissa suuremmat. SYKE:n hiilijalanjälkilaskurin (Niemistö, 2019) mukaan, kun kierrättää 1 tonnin kartonki ja paperijätettä, ovat päästöt 53,4 kg CO₂-ekv. Vastaava luku tonnin muovinkierrätykselle on 366 kg CO₂-ekv. Kartongin kohdalla kierrätysprosessissa syntyvän jätteen määrä on suurempi kuin neitseellisen kartongin valmistuksessa (Wang, 2012).

Koska kierrätyskartongista ei valmisteta Suomessa uusia kartonkipakkauksia, mutta kierrätysmuovista voidaan valmistaa, voidaan vertailla materiaalien valmistuksen ilmastovaikutusta niin, että vertailussa on mukana neitseellisen kartongin lisäksi sekä uusio- että neitseellinen muovi. Kuvassa 7 vertaillaan näiden materiaalien GWP:tä eli

ilmaston lämmityspotentiaalia kilogrammaa materiaalia kohden. Jo tästä taulukosta huomataan, että uusiomuoveilla polypropeenilla (PP) sekä suuritiheyksisellä polyeteenillä (HDPE) on alhaisimmat GWP-arvot. Kun otetaan vielä huomioon muovin kevyt massa verrattuna kartonkiin, pienenee muovien lämmityspotentiaali pakkausta kohden suhteessa kartonkiin entisestään. Kuitenkin VTT:n tietojen mukaan toistaiseksi alle 2 % Suomen markkinoiden pakkausmuovista valmistetaan kierrätysmuovista (Salo, 2021).



Kuva 7. Neitseellisen muovin, kartongin ja kierrätysmuovin ilmastonlämmityspotentiaalain (GWP) vertailu kilogrammalle materiaalia.

¹ (Plastics Europe, 2008), ² (Plastics Europe, 2014), ³ (Tetra Pak, 2019), ⁴ (Hägglom-Ahnger U., 2001), ⁵ (Fortum Circo, 2022a)

Materiaalina muovi sopii paremmin kierrätykseen kuin kartonki. Muovi voidaan kierrättää enintään 10 kertaa (Fortum Circo, 2022a), kun taas kartonki heikkenee kierrossa nopeammin sen kierrätyskertojen maksimin ollessa 7 (Fiskeby). Kartonkikuidun laatu heikkenee siis kierrätyksessä nopeammin: 30 % jokaisella kierrätyskerralla, mikä tarkoittaa, että jokaisella kierrätyskerralla sekaan lisätään 30 % neitseellistä kuitua (Wang, 2012). Muovin kohdalla neitseellisen materiaalin lisäyksestä ei ole mainintoja, mutta sekaan lisätään kuitenkin selluloosakuitua. Kuidun määrä on esimerkiksi PP:lla 10 m-%. (Fortum Circo, 2022b) Molempien uusiomateriaalien kohdalla on hankaluuksia pakkausten valmistamisen tiukkojen sääntöjen suhteen, mutta tässä muovi on jokseenkin parempi.

Muovia ja kartonkia yhdistävät pakkaukset hankaloittavat myös kierrätystä. Vaikka kartonkinen osa olisi irrotettavissa, lisää se kynnystä erottaa materiaalit ja kierrättää ne oikein.

4.2.3 Jätteiden luontoon päätyminen ympäristövaikutukset

Toisinaan pakkauksia päätyy jätehuollon sijaan niille kuulumattomiin paikkoihin, kuten luontoon. Muovipakkauksen hajoamiseen luonnossa kuluu satoja vuosia (Ryan, 2015) kun taas kartonkipakkauksen hajoamisessa puhutaan kuukausista, nestekartongin kohdalla muutamista vuosista (Planet Paper Box, 2017). Tämän vuoksi muovijätettä kertyy etenkin meriin, koska kartonkipakkaukset ehtivät hajota ennen kuin niitä kertyy haittaavia määriä luontoon.

Hajotessan kartonkipakkaus ei aiheuta ongelmia luonnossa niin kuin muovi aiheuttaa, koska kartonki on biopohjainen materiaali. Kun kartonki hajoaa, siitä vapautuu hiilidioksidipäästöjä. Nämä hiilipäästöt karakterisoidaan usein kuitenkin nollassi, kuten poltonkin yhteydessä kartongin ollessa biopohjainen materiaali. Mitä enemmän kartonkipakkausta on käsitelty, sitä enemmän siitä aiheutuu muutakin haittaa sen hajotessa. Esimerkiksi nestekartonkipakkauksissa on seassa usein juuri muovia, jolloin ympäristöön vapautuu kemikaaleja ja mikromuoveja, kuitenkin pienemmässä mittakaavassa kuin täysin muovisilla tuotteilla.

Isommatkin muovikappaleet hajoavat pieniksi mikromuovipalasiiksi, jotka päätyvät eläinten elimistöön. Lisäksi hajotessaan muovista vapautuu haitallisia kemikaaleja. Erityisen haitalliseksi on osoittautunut merien muovijäte, jossa etenkin mikromuovit haittaavat vesiekosysteemejä. (Ryan, 2015) Luontoon päätyessään muovi on siis selvästi haitallisempi kuin kartonki.

5. JOHTOPÄÄTÖKSET

Työssä tutkittiin ja vertailtiin muovi- ja kartonkipakkausten ympäristövaikutuksia liittyen ilmastoa lämmittäviin ja ympäristöä happamoittaviin päästöihin sekä materiaalin kulutukseen. Työssä oli tarkoituksena selvittää, onko muovipakkauksen korvaaminen kartonkipakkauksella ympäristölle parempi ratkaisu tutkien kaikkia elinkaaren vaiheita. Pakkausten käyttö rajattiin kuitenkin tarkastelusta pois, koska työn tarkoitus oli tarkastella pakkausten suoria ympäristövaikutuksia, ja tässä elinkaaren vaiheessa niihin ei saa tehtyä eroa pakkausten välillä.

Muovi valmistetaan uusiutumattomista raaka-aineista, kun taas kartonki valmistetaan uusiutuvista. Itse valmistusprosessi vaatii muovin kohdalla enemmän energiaa ja aiheuttaa näin myös enemmän sekä ilmastoa lämmittäviä että happamoittavia päästöjä. Muovinvalmistusprosessin ilmastolämmityspotentiaali on HDPE:llä 1,8 kg CO₂-ekv ja kartongin 1,1 kg CO₂-ekv. Kuitenkin kartongin valmistusprosessi vaatii puolestaan enemmän vettä ja aiheuttaa enemmän jätettä.

Kuljetusvaiheessa massaltaan kevyempi muovi aiheuttaa vähemmän päästöjä. Kuljetuksen päästöt ovat niin ilmastoa lämmittäviä kuin happamoittaviakin. Lisäksi kuljetuksesta aiheutuu muita terveydelle ja ympäristölle haitallisia päästöjä, jotka kaikki lisääntyvät kuljetuksen kuorman massan kasvaessa. Jogurttipurkkien sadan rekkakuljetuksen päästöero muovisella ja kartonkisella pakkauksella on 230 kg CO₂ ja muovisen ja muovia ja kartonkia yhdistävän pakkauksella 460 kg CO₂. Kuljetusvaiheen erot ovat kuitenkin suhteessa muihin elinkaaren vaiheisiin pienemmät.

Muovi on materiaalina kestävämpi, joten se kestää käytössä paremmin eikä näin muutu aivan yhtä helposti jätteeksi kuin kartonki. Jätteeksi päätyessään Suomessa pakkaukset joko kierrätetään tai käytetään energiana polttamalla. Toisinaan pakkausjätettä päätyy myös luontoon ohi jätehuoltojärjestelmän.

Poltettaessa muovista aiheutuu enemmän päästöjä, mutta koska Suomessa jätettä poltetaan energiapolttoaineena, on otettava huomioon myös muovin parempi energiasisältö. Biopohjaisena materiaalina kartongin päästöt karakterisoidaan usein nolllaksi, joten vaikka muovin energiasisältö on kartonkia parempi, on poltettaessa muovi haitallisempi ympäristölle, jonka lisäksi muovia poltetaan huomattavasti enemmän kuin kartonkia. Poltettaessa aiheutuu niin ilmastoa lämmittäviä kuin happamoittaviakin päästöjä.

Materiaalina muovi soveltuu kartonkia hieman paremmin kierrätykseen, koska se ei heikkene kierrätettäessä yhtä paljon kuin kartonki. Muovia kuitenkin kierrätetään toistaiseksi vähemmän eikä muovinkierrätyksen kapasiteetti Suomessa riitä kierrättämään edes puolta syntyvästä muovipakkauksijätteestä. Kartonkia erilliskerätään ja kierrätetään paremmin, mutta Suomessa siitä ei valmisteta lainkaan uusia pakkauksia. Kierrätysmuoviakin käytetään toistaiseksi uusissa pakkauksissa vain hyvin vähän johtuen molempien materiaalien kohdalla mm. tiukasta lainsäädännöstä elintarvikkeiden laatuvaatimuksista.

Itse kierrätysprosessi vaatii muovin kohdalla enemmän energiaa, vaikka suhteessa neutseelliseen materiaaliin kierrätysmuovi säästää enemmän energiaa kuin kierrätyskartonki. Muovinkierrätysprosessi säästää noin 40 % neutseellisen muovin valmistukseen nähden ja kartonginkierrätys noin 20 % neutseelliseen nähden. Uusiokartonki on materiaalina heikompaa kuin uusiomuovi ja kun siitä valmistetaan Ruotsissa uusia pakkauksia, on niissä usein mukana myös neutseellistä kartonkia. Vaikka Suomessa pelkästä uusiomuovista ei tehdä vielä esimerkiksi elintarvikkepakkauksia, on suomalaisilla markkinoilla jo kierrätysmuovista valmistettuja pakkauksia, joskin hyvin vähän. Kun vertaillaan neutseellistä muovia, neutseellistä kartonkia sekä uusiomuovia, on uusiomuovin valmistuksen ilmastoa lämmittävät päästöt selvästi pienemmät kuin muilla materiaaleilla.

Luontoon päätyessään muovi on huomattavasti ympäristölle haitallisempi materiaali. Sillä kestää hajoamisessa satoja vuosia kun taas kartongilla kestää vain muutamia kuukausia ja nestekartongilla muutamia vuosia ja näin muovia kertyy etenkin vesiekosysteemeihin vuosien saatossa paljon enemmän kuin kartonkia. Hajotessa muovista lisäksi vapautuu kemikaaleja sekä irtoaa mikromuovipalasia, jotka aiheuttavat haittaa etenkin vesiekosysteemien eliöille. Kun kartonki hajoaa, vapautuu siitä hiilipäästöjä, jotka kuitenkin voidaan karakterisoida nolaksi kartongin ollessa biopohjainen materiaali.

Yksiselitteistä lopputulosta siitä, kumpi pakkausmateriaali on ympäristön kannalta parempi vaihtoehto, on hankala todeta, koska eri ympäristövaikutuksia on kovin monia elinkaaren eri vaiheissa ja niitä on hankala verrata suoraan keskenään. Selvää on kuitenkin se, että muovipakkauksen korvaaminen kartonkipakkauksella ei ole automaattisesti ympäristöteko. Kaikista haitallisemmiksi materiaalien kulutuksen sekä päästöjen kannalta osoittautui kuitenkin muovia ja kartonkia yhdistelevä pakkaus, joka kuluttaa enemmän materiaalia, vaatii enemmän kuljetuksia, on painavampi sekä hankaloittaa kierrätystä. Kaikista paras vaihtoehto olisi kierrätysmuovista valmistettu pakkaus.

Pakkausvaihtoehtoja valittaessa kannattaa ottaa huomioon esimerkiksi pakkauksen kierrätettävyys. Jos käytön jälkeen pakkausta ei kierrätä, vaan se päätyisi poltettavaksi tai luontoon, kannattaa valita kartonkinen pakkaus. Jos taas kierrättää, on muovinen pakkaus hyvä vaihtoehto. Jos pakkausta, esimerkiksi jäätelöpakkausta, aikoo käyttää uudelleen esimerkiksi kotitaloudessa säilytysrasiana, kannattaa valita muovinen vaihtoehto sen kestävyden vuoksi. Pakkauksen ympäristöystävällisyyttä pohtiessa kannattaa ottaa huomioon myös pakkauksen materiaalitehokkuus, eli onko pakkauksessa käytetty tarpeettoman paljon materiaalia, jolloin sen materiaalikulutus sekä massa kasvattavat ympäristövaikutuksia.

Jatkotutkimuksena suositellaan muovi- ja kartonkipakkausten epäsuorien ympäristövaikutusten tutkimista, kuten esimerkiksi elintarvikkeiden kohdalla pakkausmateriaalin vaikutusta ruokahävikin syntyyn.

LÄHTEET

- Blauberg. (2021). Ympäristöministeriö. Ehdotus valtioneuvoston asetuksiksi pakkauksista ja pakkausjätteistä.
- Euroopan komissio. (2018). EU:n strategia muoveista kiertotaloudessa. *Komission tiedonanto Euroopan parlamentille, neuvostolle, Euroopan talous- ja sosiaalikomitealle ja alueiden komitealle*, Saatavissa (viitattu 7.2.2022): <https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:2df5d1d2->.
- Euroopan parlamentti. (2021). *Muovijäte ja kierrätys EU:ssa*. Euroopan parlamentti -verkkosivu. Saatavilla (viitattu 7.5.2022): <https://www.europarl.europa.eu/news/fi/headlines/society/20181212STO21610/muovijat-e-ja-kierratys-eu-ssa>.
- European Commission. (2020). Turning the tide on single-use plastics. *Directorate-General for Environment*, Saatavissa (viitattu 31.3.2022): https://data.europa.eu/doi/10.2779/294711fac7-11e7-b8f5-01aa75ed71a1.0017.02/DOC_1&format=PDF.
- Fiskeby. (ei pvm). *Sustainability*. Norrköping. Saatavilla (viitattu 6.5.2022): <https://www.fiskeby.com/sustainability/?lang=en>: Fiskeby-verkkosivu.
- Fortum. (2019). Kotitalouksista kerätty muovi saa uuden elämän Fortumin jalostamossa. *verkkouutinen*, Saatavissa (viitattu 31.3.2022): <https://yhdedssa.fortum.fi/kierratetty-muovi-saa-uuden-elaman-fortumin-jalostamossa>.
- Fortum Circo. (2022a). *Life Cycle Assessment Study*. Fortum.
- Fortum Circo. (2022b). *PP-CF 10 Data Sheet*.
- Fortum. (ei pvm). Kysymyksiä ja vastauksia muovin kierrätyksestä. *verkkosivu*, Saatavilla (viitattu 7.5.2022): <https://www.fortum.fi/yrityksille-ja-yhteisöille/kierratys-ja-jatepalvelut/kierratys/muovit/circo/kysymyksiä-ja-vastauksia-muovin-kierrätyksestä>.
- Geyer, R. J. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, Vol. 3(7).
- Hägglom-Ahnger U., K. P. (2001). *Kemiallinen metsäteollisuus 2. Paperin ja kartongin valmistus*. Opetushallitus.
- Ikonen, P. V. (2007). Raskaiden ajoneuvojen omamassat - selvitys mahdollisuuksista lisätä kantavuutta. *Turun ammattikorkeakoulu*.
- Järvinen, P. (2008). *Uusi muovitieto*. Muovifakta Oy.
- Järvinen, P. (2016). *Muovien kierrätys ja hyötykäyttö Suomessa*. Muovifakta Oy.
- KIVO. (2019). Kotitalousjätteen keskimääräinen valtakunnallinen koostumus. *Koostumustietopankki*, Saatavilla (viitattu 1.4.2022): https://kivo.fi/yymmarramme/koostumustietopankki/kotitalousjätteen_koostumus_yhteenveto/.
- KnowPap. (2020). Tuotantoprosessit, versio 21.0. *AEL/Proledge Oy*, Saatavilla (viitattu 31.3.2022): http://www.knowpap.com.libproxy.tuni.fi/extranet/suomi/knowpap_system/user_interfaces/tuotantoprosessit/tuotantoprosessit.htm.
- Käyhkö. (2019). Muovin kemiallinen kierrätys on kestävä vaihtoehto. *Kemialehti. Verkkouutinen.*, Saatavilla (viitattu 31.3.2022): <https://www.kemialehti.fi/muovin-kemiallinen-kierratys-on-kestava-vaihtoehto/>.
- Lehtinen, K. H.-P. (2021). *Toimiva pakkaus. Kestävä pakkaus*. Suomen Pakkausyhdistys ry.
- Liimatainen, P. N. (2020). Impacts of increasing maximum truck weigh load - case Finland. *Trepo*.
- Miettinen. (2021a). Suurin osa kodeissa lajitellusta muovijätteestä päätyi poltettavaksi - MOT selvitti, kuinka hyvin kierrätys onnistuu. *Yle uutiset*, Saatavissa (viitattu 31.3.2022): <https://yle.fi/uutiset/3-11865230>.
- Miettinen. (2021b). Minne lajittelemasi muovijäte päätyy? Jo puolet viedään ulkomaille, mutta tiedot muovin hyötykäytöstä ovat epämääräisiä. *Yle uutiset*, Saatavissa (viitattu 31.3.2022): <https://yle.fi/uutiset/3-12239976>.
- Moliis, D. R. (2012). *Pohjois-Suomen pakkausjätteiden hyödyntäminen - Elinkaaren aikaiset ympäristö- ja kustannusvaikutukset*. Ympäristöministeriön raportteja.

- Motiva. (2019). Autojen pakokaasupäästöt. *verkkosivu*, Saatavilla (viitattu 7.5.2022): https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/perustietoa_liikenteesta/autojen_pakokaasupaastot.
- Muoviteollisuus Ry. (ei pvm). Muovit ovat monipuolinen materiaaliryhmä. *Muovitetieto*, Saatavilla (viitattu 18.2.2022): <https://www.plastics.fi/fin/muovitetieto/muovit/>.
- Myllymaa T., M. K. (2008). Jätteiden kierrätyksen ja polton ympäristövaikutukset ja kustannukset - jätehuollon vaihtoehtojen tarkastelu alueellisesta näkökulmasta. *SYKE*.
- Niemistö J., K. J. (2019). SYKE, Y-HIILARI hiilijalanjälkilaskuri. *SYKE*, Saatavissa (viitattu 9.4.2022): <https://www.syke.fi/download/noname/%7B486D0D8F-1933-457E-8BFF-6EFEFB841CF6%7D/78425>.
- Nylund, E. S. (2005). Euro 3 kuorma-autokaluston polttoaineen kulutus ja pakokaasupäästöt. *VTT*.
- Planet Paper Box. (2017). How Long Does Cardboard Take to Decompose? Saatavilla (viitattu 7.5.2022): <https://www.planetpaper.com/long-cardboard-take-decompose/>.
- Plastics Europe. (2010). High impact polystyrene (HIPS); polymerisation of polybutadiene rubber in a styrene solution: production mix, at producer. Saatavissa: <https://plasticseurope.lca-data.com/datasetdetail/process.xhtml?uud=aed8d428-25bc-4b69-8722-d3e26975dc5b&version=06.10.000>.
- Plastics Europe Eco-profiles. (2008). Polypropylene (PP). Saatavissa (viitattu 31.3.2022): <http://www.afvalmanager.nl/epd2.pdf>.
- Plastics Europe Eco-profiles. (2014). High-density Polyethylene (HDPE), Low-density Polyethylene (LDPE), Linear Low density Polyethylene (LLDPE). Saatavissa (viitattu 31.3.2022): https://www.pedagogie.ac-aix-marseille.fr/upload/docs/application/pdf/2015-11/4-_eco-profile_pe_2014-04.pdf.
- Pöyry Finland Oy. (2018). Stora Enso Oyj, Ympäristövaikutusten arviointiohjelma, Oulun tehtaan tuotantosuunnan muutos.
- Robertson. (2009). *Food packaging and shelf life : A practical guide*. CRC Press.
- Ryan. (2015). Marine Anthropogenic Litter.
- Salo M., S.-A. H. (2021). Minkä verran muovipakkauksia Suomessa liikkuu ja kuinka ne kiertäisivät paremmin? *VTT verkkosivu*, Saatavissa (viitattu 16.4.2022): <https://www.vttresearch.com/fi/uutiset-ja-tarinat/minka-verran-muovipakkauksia-suomessa-liikkuu-ja-kuinka-ne-kiertaisivat-paremmiin>.
- Seppälä. (1997). *Polymeeriteknologian perusteet*.
- Seppälä. (2004). *Kemiallinen metsäteollisuus 3, Paperin ja kartongin jalostus*. Opetushallitus.
- Seppälä, K. (2001). *Kemiallinen metsäteollisuus 1, Paperimassan valmistus*. Opetushallitus.
- Silvenius, F. G.-M.-K. (2014). The Role of Household Food Waste in Comparing Environmental Impacts of Packaging Alternatives. *Packg. Technol. Sci.*, Saatavissa: <https://doi-org.libproxy.tuni.fi/10.1002/pts.2032>.
- Suomen Uusiomuovi Oy. (2021). Muovipakkausten kierrätysaste 2020. *verkkosivu*, Saatavissa (viitattu 1.4.2022): https://www.uusiomuovi.fi/fin/suomen_uusiomuovi/ajankohtaista/2021/11/muovipakkausten-kierratysaste-2020/.
- Suomen virallinen tilasto (SVT). (2020). Yhdyskuntajätteet Suomessa käsittelytavoittain 2019. Saatavissa (viitattu 1.4.2022): https://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__ymp__jate/statfin_jate_pxt_12cv.px/table/tableViewLayout1/.
- Tetra Pak. (2019). Packaging material for Tetra Pak carton packages. *verkkosivu*, Saatavissa (viitattu 23.2.2022): <https://www.tetrapak.com/solutions/packaging/packaging-material/materials>.
- Uusiouutiset-verkkosivu. (2021). Fortum suunnittelee Riihimäelle uutta muovinjalostamoaa. Saatavilla (viitattu 31.3.2022): <https://www.uusiouutiset.fi/fortum-suunnittelee-riihimaelle-uutta-muovijalostamoaa/>.
- Valio. (ei pvm). Pakkaukset. *Verkkosivu*. Saatavissa (viitattu 10.4.2022): <https://www.valio.fi/tekoja/pakkaukset/>.
- Wang, T. M. (2012). A life cycle assessment (LCA) comparison of three management options for waste paper: Bioethanol recycling and incineration with energy recovery. *Biosource technology*.
- WWF. (2018). Ilmastolaskurin kertoimet. *verkkosivu*, Saatavissa (viitattu 12.4.2022): https://wwf.fi/ilmastolaskuri_laskentaperusteet/.

Ympäristö.fi. (2022). Jätetilastot. Saatavilla (viitattu 31.3.2022): https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kartat_ja_tilastot/Jatetilastot/Jatteen_vienti_ja_tuontimaarat.